

УДК 621.316

Н.С. Требукова,

А.Н. Семернин, к.т.н., доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ В УСЛОВИЯХ ПРОТЕКАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА

Выбор электрических аппаратов и проводников электроустановок производится с учетом возможного электродинамического и термического воздействия токов короткого замыкания. Как известно, при увеличении силы электрического тока, пропускаемого по проводнику, температура его растет. Известны процессы, происходящие в проводнике при протекании по нему электрического тока в пределах номинального. В данной статье приведены результаты исследований процессов, происходящих в проводнике, при протекании по нему токов, в 10-15 раз превосходящих номинальный.

Для изучения этих процессов применялась установка, состоящая из источника питания постоянного тока (ИП), добавочного сопротивления (R) и исследуемого образца (ОИ) в виде медной проволоки диаметром 0,2 мм, закрепленной на двух стойках. Для исследования тепловых полей применялся тепловизор TVS 110 - устройство для съемки изображений в инфракрасном диапазоне волн, предназначенное для определения температурных полей исследуемых объектов. Область применения тепловизоров связана с определением теплотехнических характеристик тепловыделяющих объектов, с обследованием и диагностикой различного типа энергооборудования и др. Многофункциональный тепловизор TVS 110 с охлаждаемым приемником излучения функционирует в инфракрасном диапазоне волн от 3 до 5,3 мкм и имеет диапазон измеряемых температур от -10 до +300° С с порогом чувствительности не менее 0,1 °С. Отображение полученной информации осуществляется на цветном дисплее с записью термоизображений (объем памяти рассчитан на 64 термограммы). Они применяются совместно с цифровой камерой или фотоаппаратом для съемки технического и энергетического оборудования с целью сопоставления результатов измерений.

Методика проведения эксперимента. Исследуемый проводник был подключен к источнику постоянного тока. Напряжение, подводимое к проводнику, постепенно увеличивали, при этом проводник нагревался и удлинялся. После того, как происходило плавление изоляции и она сгорала, проводник выдерживался при этой температуре. Затем напряжение снимали и проводник остывал, при этом его удлинение уменьшалось. После этого снова, напряжение, подводимое к образцу постепенно увеличивали. При значении тока чуть более превышающего 7А и напряжении 32 В проводник обрывался. Средняя длина образца до опыта – 215 мм. Длина отрезков после обрыва соответственно составляет 52 мм и 162 мм. Сумма длин отрезков после обрыва проводника всякий раз оказывалась на 1-2 мм меньше начальной длины образца, а на концах проволоки наблюдались капельки оплавленного металла. Причем, короткий конец проводника, как правило, находился с одной и той же стороны.

Поскольку во всех опытах начальная длина проводника была неодинаковой, будем рассматривать не абсолютную длину участка, на котором происходит обрыв, а отношение длины этого участка к длине всей проволоки (см. табл. 1).

Таблица 1

Длина до нагре- вания l_0 , мм	Длина большей части проводника l_{\max} , мм	Длина меньшей части проводника l_{\min} , мм	Относительная длина l_{\max}/l_0
217	155	65	0,714286
216	187	27	0,865741
212	144	66	0,679245
215	166	47	0,772093
216	162	57	0,75

Оценим расстояние от стойки до точки обрыва, оговаривая вероятности обрыва у стойки, по следующим зависимостям:

$$m(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 0,756272952 ;$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m(x))^2 = 0,004992253 ;$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - m(x))^2}{n-1}} = 0,070655876 ,$$

где $m(x)$ - математическое ожидание; σ^2 - дисперсия; σ - среднее квадратичное отклонение.

Согласно распределению Стьюдента, измеряемая величина попадает в интервал:

$$J(P) = (m(x) - t\sigma \div m(x) + t\sigma),$$

тогда для различных вероятностей получим следующее:

P=0,7: t=1,19	$J(0,7) = (0.6729 \div 0.8404) ;$
P=0,8: t=1,533	$J(0,8) = (0.6479 \div 0.8646) ;$
P=0,9: t=2,133	$J(0,9) = (0.6056 \div 0.907) .$

Следовательно, с вероятностью 90% разрыв проводника произойдет на отрезке от 60,5 мм до 90,7 мм.

Расчет максимального абсолютного и относительного удлинения проводника:

$$\Delta l = l - l_0 ,$$

где l – длина проводника перед обрывом; l_0 – начальная длина проводника.

При этом длина проводника перед обрывом определяется в следующем виде

$$l = 2\sqrt{l_0^2/4 + h^2} ,$$

где h – величина прогиба.

Тогда для этой серии экспериментов получим $l = 222,68$ мм и $\Delta l = 5,69$ мм.

Максимальное относительное удлинение проводника определим из соотношения

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l}$$

и получим, что относительное удлинение проводника составляет 2,6%.

Зависимость относительного удлинения проводника от тока, протекающего по нему, показана на рис. 1:

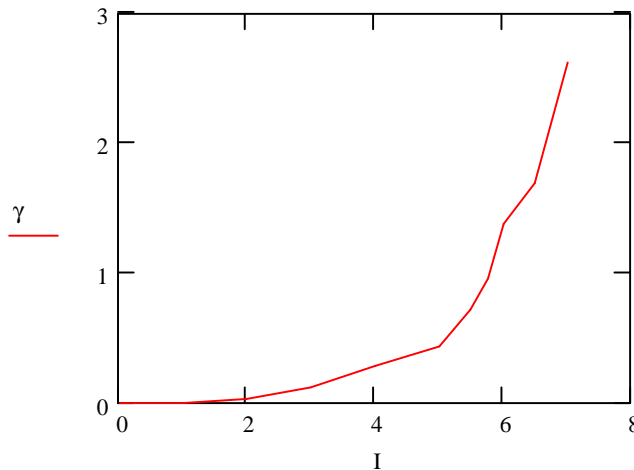


Рис.1. Зависимость относительного удлинения проводника от тока

Сопротивление медного проводника при температуре окружающей среды 20⁰С составляет $R_0 = 1,545$ Ом.

Сопротивление проводника при температуре 250⁰С, что примерно соответствует температуре обрыва проводника, определим по формуле:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha(t - t_0)),$$

где α - температурный коэффициент сопротивления, t_0 - температура окружающей среды и тогда получим $R_{250} \approx 35$ Ом.

На рис.2 представлена типовая термограмма исследуемого образца, снятая перед обрывом проводника при токе 7А. Из этой термограммы видно, что проводник нагревается неравномерно. На рис.3 представлено распределение температуры по линиям L1 и L2, проведенным с учетом деформации проводника.

Анализируя полученные результаты, можем наблюдать, что перед обрывом проводника имеются два больших скачка температуры на малой длине: от 220⁰С до 130⁰С и от 130⁰С до 60⁰С (по линии L2). Сопротивление участка, температура которого 200⁰С, равно примерно 33 Ом, а участка с температурой 130⁰С – 27 Ом, т.е. на участке, длиной примерно 3-4 мм происходит изменение сопротивления R на 6 Ом.

На следующем участке длиной 2-3 мм при постоянной температуре 130⁰ С проводник имеет примерно одинаковое сопротивление, равное 27 Ом. И далее снова резкий скачок температур от 130⁰С до 60⁰С с соответствующим уменьшением сопротивления от 27 Ом до 4,65 Ом (разность 22,35 Ом). Эти скачки происходят на расстоянии примерно 70-80 мм от стойки, что совпадает с точкой обрыва, полученной путем расчета вероятностей.

Следовательно, можно допустить, что такие резкие изменения температуры на довольно малых участках проводника и сопутствующие им изменения сопротивления могут являться причиной обрыва проводника.

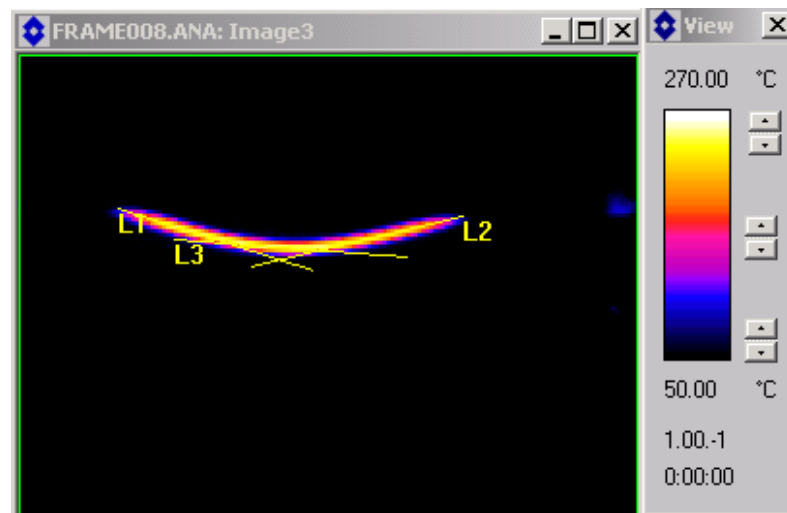


Рис.2. Типовая термограмма образца

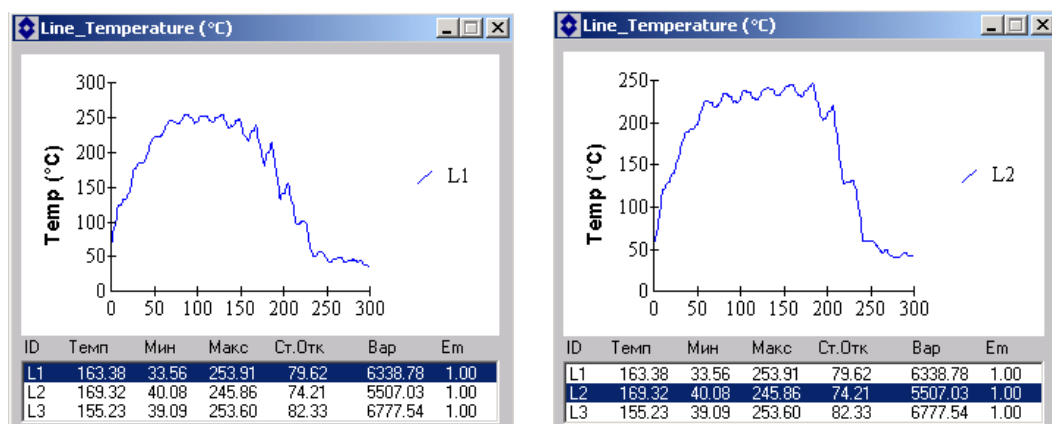


Рис.3. Распределение температуры по линии L1 и L2

Литература

1. Обложим, В.А. Тепловизионный контроль при организации ремонтов электротехнического оборудования по его состоянию /В.А. Обложим // Электрические станции. – 2000 - № 6. – С. 58-63.
2. Метрология и радиоизмерения: учебник/ под ред. В.И. Нефедова. М.: Высшая школа, 2006.- 526 с.

ТЕПЛОВІЗІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРИВУ ПРОВІДНИКІВ В УМОВАХ ПРОТІКАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТРУМУ

Н.С. Требукова, А.Н. Семернин

Досліджуються особливості розриву провідників під дією постійного струму, значення якого перевищує номінальне в 10-15 разів.

THERMOVISION EXPLORATION OF CABLE BREAK AT PEAK CURRENT

N.S. Trebukova, A.N. Semernin

The peculiarities of the breakup conductor are researched under the action of direct current, where nominal values exceeds in 10-15.